

Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA  
Engenharia de Energia

**Potencial do carvão de resíduos do coco babaçu  
e o desenvolvimento de protótipos de quebra  
do coco e carbonização**

Autor: Victor Miguel Cunha de Sousa  
Orientador: Professor Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa

Brasília, DF  
2020



Victor Miguel Cunha de Sousa

**Potencial do carvão de resíduos do coco babaçu e o desenvolvimento de protótipos de quebra do coco e carbonização**

Monografia submetida ao curso de graduação em (Engenharia de Energia) da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em (Engenharia de Energia).

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Professor Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa

Brasília, DF

2020

---

Victor Miguel Cunha de Sousa

Potencial do carvão de resíduos do coco babaçu e o desenvolvimento de protótipos de quebra do coco e carbonização/ Victor Miguel Cunha de Sousa. – Brasília, DF, 2020-

56 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Professor Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA , 2020.

1. Coco Babaçu. 2. Cocção. I. Professor Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Potencial do carvão de resíduos do coco babaçu e o desenvolvimento de protótipos de quebra do coco e carbonização

CDU 02:141:005.6

---

Victor Miguel Cunha de Sousa

## **Potencial do carvão de resíduos do coco babaçu e o desenvolvimento de protótipos de quebra do coco e carbonização**

Monografia submetida ao curso de graduação em (Engenharia de Energia) da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em (Engenharia de Energia).

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 11 de dezembro de 2020:

---

**Professor Dr. Fábio Cordeiro de  
Lisboa**  
Orientador

---

**Professora Dra. Maria Vitoria Duarte  
Ferrari**  
Convidado 1

---

**Professora Dra. Roseany de  
Vasconcelos Vieira Lopes**  
Convidado 2

Brasília, DF  
2020



# Agradecimentos

Agradeço a Deus. Agradeço aos meus pais e minha irmã por acreditarem no poder transformador da educação e serem meus grandes apoiadores nesse trajeto. Gostaria de agradecer minhas Tias Nanci e Edimária por me prestar apoio aqui no DF.

Agradeço ao Professor Fábio Lisboa, pela orientação, pela disposição e pelo apoio na realização desse trabalho de conclusão de curso.

Gostaria de agradecer a Professora Maria Vitória pelo entusiasmo e pelo grande apoio na realização desse trabalho. Gostaria de agradecer as correções e dicas sugeridas. Sou muito grato!

Agradeço a Professora Josiane Aguiar, por me dar oportunidade de contribuir com o Projeto Tutoria, e pela oportunidade publicar trabalhos durante a minha graduação.

Gostaria de agradecer aos Professores e Professoras que fizeram parte da minha formação. E também sou grato pelo trabalho dos servidores da biblioteca, secretaria, DDS, seguranças, o pessoal da limpeza e todos os outros que fazem as engrenagens dessa Universidade funcionarem.

Sou grato ao Técnico de Laboratório da Faculdade UnB-Gama Danilo Oliveira pela disponibilidade e pela grande ajuda na construção da máquina de quebras coco babaçu. E também ao meu pai, Raimundo Leal e meu Tio, Gilmar Leal pela colaboração neste trabalho de conclusão de curso.

Gostaria de agradecer a todos meus amigos e amigas pelo grande apoio na minha trajetória. Gostaria de agradecer ao Hebert Max e a Brenda Dias e suas famílias, por me adotarem e me darem muito amor, carinho e apoio aqui no DF.

# Resumo

Mais de trezentas mil famílias dependem financeiramente da coleta e quebra do coco babaçu, apenas no estado do Maranhão. Na cidade de Palmeira do Piauí-PI, quebradeiras de coco babaçu, também quebram coco como uma forma de complementar a renda familiar. O fato de a atividade de quebra do coco ser onerosa a saúde da quebradeiras e os resíduos gerados, cerca de 93% da massa do coco, não serem aproveitados, é o que motivou a realização desse trabalho, tendo como objetivo realizar o estudo teórico sobre o potencial energético do coco de babaçu para cocção e o desenvolvimento de protótipos para quebra do coco e carbonização. Para alcançar esses objetivos foram realizadas pesquisas bibliográficas, desenvolvimento de protótipos para corte do coco babaçu, desenvolvimento de protótipos de forno para carbonização e teste piloto de carbonização dos cavacos de coco. Foi desenvolvida uma garra metálica que através de uma guia, conduz o coco ao corte em um disco de serra. Com o protótipo é possível cortar cerca de dez cocos por minuto. Foi construído também um forno tipo “Rabo Quente”, com capacidade para 550 litros de cavacos. Para o teste piloto de carbonização, foi escolhida a técnica de análise de cor de fumaça para a condução do processo de pirólise. O teste piloto durou cerca de 27h. Após quatro dias de selado, o forno foi aberto e foi observado que houve uma queima completa da biomassa gerando um carvão de boa qualidade.

**Palavras-chaves:** Coco Babaçu, Carvão, Cocção

# Abstract

More than three hundred thousand families depend financially on the collection and breaking of babaçu coconut, only in the state of Maranhão in Brazil. In the city of Palmeira do Piauí-PI in Brazil, babaçu coconut breakers also break coconut as a way to supplement family income. The fact that the activity of breaking the coconut is costly to the health of the workers and the waste generated, about 93% of the coconut mass, is what motivated the accomplishment of this work, aiming to carry out the theoretical study on the energetic potential of babaçu coconut for cooking and the development of prototypes for coconut breaking and carbonization. To achieve these objectives, bibliographic research, development of prototypes for cutting the babaçu coconut, development of furnace prototypes for carbonization and pilot test of carbonization of coconut chips were carried out. A metal claw was developed that, through a guide, leads the coconut to the cutting on a saw disc. With the prototype it is possible to cut about ten coconuts per minute. A "Rabo Quente" oven was also built, with a capacity of 550 litres of chips. For the carbonization pilot test, the smoke color analysis technique was chosen for conducting the pyrolysis process. The pilot test lasted about 27 hours. After four days of sealing, the oven was opened and it was observed that there was a complete burning of the biomass generating a good quality coal.

**Key-words:** Babassu coconut, Coal, Cooking

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Metodologia . . . . .	16
Figura 2 – Babaçuais localizado na Cidade de Palmeira do Piauí-PI (Autor,2019) .	20
Figura 3 – Palmeira do babaçu com 8 cachos. Foto registrada na Cidade de Palmeira do Piauí-PI (Autor,2019) . . . . .	20
Figura 4 – Curvas de análise termogravimétrica para o epicarpo, em atmosfera inerte (TEIXEIRA, 2002) . . . . .	25
Figura 5 – Curvas da análise termogravimétrica para epicarpo, em atmosfera reativa (TEIXEIRA, 2002) . . . . .	25
Figura 6 – Curvas da análise termogravimétrica para o endocarpo, em atmosfera inerte (TEIXEIRA, 2002) . . . . .	26
Figura 7 – Curvas da análise termogravimétrica para o endocarpo, em atmosfera reativa (TEIXEIRA, 2002) . . . . .	26
Figura 8 – Cavaco originado da quebra do coco babaçu da forma tradicional, com machado. (Autor, 2019) . . . . .	28
Figura 9 – Cavaco gerado pela máquina de quebrar coco sugerida por este trabalho. (Autor, 2019) . . . . .	29
Figura 10 – Análise termogravimétrica. Perda de massa em função da temperatura dos resíduos do coco babaçu sob fluxo contínuo de nitrogênio (PROTÁSIO, 2014) . . . . .	30
Figura 11 – Gráfico de decomposição térmica dos componentes da madeira (ESTRATÉGICOS, 2015) . . . . .	32
Figura 12 – Método de produção de carvão de coco babaçu em caieira (CARRAZZA et al., 2012) . . . . .	32
Figura 13 – Produção de carvão com cascas do coco babaçu utilizando tambores de 200l (CARRAZZA et al., 2012) . . . . .	34
Figura 14 – Forno de carbonização de modelo LC2 200 L (LIMA; SOUZA, 2000) .	34
Figura 15 – Forno “rabo-quente” (COMO..., ) . . . . .	35
Figura 16 – Forno de superfície (COMO..., ) . . . . .	36
Figura 17 – Máquina de corte de coco babaçu. Primeiro protótipo . . . . .	37
Figura 18 – Garra metálica usada para segurar o coco e serrá-lo . . . . .	38
Figura 19 – Demonstração de funcionamento da Garra . . . . .	39
Figura 20 – Corte do coco sendo realizado . . . . .	39
Figura 21 – Sistemas de segurança para o corte do coco . . . . .	40
Figura 22 – Demonstração de Funcionamento do Sistema . . . . .	40
Figura 23 – Área de construção do forno e coleta do babaçu . . . . .	42
Figura 24 – Base do forno . . . . .	42

Figura 25 – Construção do forno de carbonização do babaçu . . . . .	43
Figura 26 – Forno de carbonização construído . . . . .	44
Figura 27 – Ignição . . . . .	45
Figura 28 – Vedação do forno . . . . .	45
Figura 29 – Início da pirólise (TD: 15 min) . . . . .	46
Figura 30 – Início da pirólise (TD: 15 min) . . . . .	47
Figura 31 – Avanço da frende de carbonização (TD: 4h25) . . . . .	48
Figura 32 – Baianas fechadas (TD: 4h55) . . . . .	48
Figura 33 – emissão de fumaça branca e azul . . . . .	49
Figura 34 – Presença de brasas no tatu ao lado da boca no forno . . . . .	49
Figura 35 – Carvão de coco babaçu . . . . .	50

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Uso energético e não energético das partes segregadas do coco babaçu .	21
Tabela 2 – Composição percentual das partes constituintes do coco babaçu (TEIXEIRA, 2002) . . . . .	23
Tabela 3 – Composição elementar lignocelulósica do endocarpo (SILVA; BARRICHELO; BRITO, 1986 apud TEIXEIRA, 2002) . . . . .	23
Tabela 4 – Composição elementar lignocelulósica do epicarpo, (FRANCO, 2010) .	24
Tabela 5 – Análise imediata, análise elementar do epicarpo, mesocarpo e endocarpo (TEIXEIRA, 2002) . . . . .	24
Tabela 6 – análise termogravimétrica para o epicarpo e endocarpo (TEIXEIRA, 2002) . . . . .	27
Tabela 7 – Dados de rendimento gravimétrico do carvão do endocarpo. Dados obtidos por SILVA, Barrichelo e Brito (1986) . . . . .	27
Tabela 8 – Dados da análise imediata do carvão do endocarpo re alisada por SILVA, Barrichelo e Brito (1986) . . . . .	28
Tabela 9 – composição elementar lignocelulósica da casca do coco babaçu (PROTÁSIO, 2014) . . . . .	29
Tabela 10 – Composição química elementar e teor de cinzas dos resíduos do coco babaçu (PROTÁSIO, 2014) . . . . .	29
Tabela 11 – Add caption . . . . .	30
Tabela 12 – Composição química imediata dos resíduos do coco babaçu (PROTÁSIO, 2014) . . . . .	30
Tabela 13 – Caracterização energética (PROTÁSIO, 2014) . . . . .	30

# Lista de abreviaturas e siglas

TG	Análise termogravimétrica
DTG	Análise térmica diferencial
DSC	Calorimetria exploratória diferencial
PCI	Poder calorífico inferior
TD	Tempo decorrido
$T_{cf}$	Teor de carbono fixo
$T_{cz}$	Teor de cinzas
$T_v$	Teor de voláteis
$\omega$	Teor de umidade
m	Massa

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>15</b>
1.1.1	Objetivos específicos	15
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Fundamentação teórica</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Protótipo da máquina de quebrar o coco</b>	<b>17</b>
2.2.1	Identificação de modelos de máquinas comerciais	17
2.2.2	Elaboração de protótipo de baixa qualidade, construção das peças e montagem	17
<b>2.3</b>	<b>Protótipo do forno de carbonização</b>	<b>18</b>
<b>2.4</b>	<b>Teste de carbonização</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>Fundamentação teórica</b>	<b>19</b>
3.1.1	Tipificação da biomassa	19
3.1.2	Caracterização da Biomassa	22
3.1.3	Produção de Carvão	30
3.1.4	Tecnologias empregadas na produção de carvão em pequena escala	32
<b>3.2</b>	<b>Desenvolvimento do protótipo da máquina de quebrar coco babaçu</b>	<b>36</b>
<b>3.3</b>	<b>Construção de um forno para a carbonização da biomassa</b>	<b>41</b>
<b>3.4</b>	<b>Teste piloto de carbonização</b>	<b>44</b>
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>52</b>



# 1 Introdução

A amêndoa do coco babaçu é o segundo produto não madeireiro com maior produção no Brasil em regime de extrativismo (IBGE, 2009). A área de ocorrência natural da palmeira abrange 13 a 18 milhões de hectares em 279 municípios, situados em onze estados brasileiros (CARRAZZA et al., 2012). O babaçu está presente principalmente nos estados do Piauí, Tocantins, Mato Grosso, e em maior quantidade, no estado do Maranhão (PORTO et al., 2004), que no ano de 2017 concentrou 92,9% da extração da amêndoa (IBGE, 2017).

O principal produto comercial do coco babaçu é o óleo extraído da amêndoa, destacando - se como a maior fonte mundial de óleo silvestre do mundo (LORENZI et al., 1996 apud SILVA, 2008). A exploração do coco babaçu para produção de óleo comestível teve significativa influência na economia maranhense até meados dos anos 1980, chegando a sustentar um Parque Industrial para beneficiamento da amêndoa. Entretanto, com o aumento da produção de soja no Brasil, o mercado do óleo comestível sofreu uma queda e deixou de ser viável. A indústria migrou para a utilização da amêndoa na produção de ácido láurico, com maior valor agregado, que também sofreu declínio com a entrada de produtos asiáticos nos anos 1990 (PORTO et al., 2004).

Além das dificuldades impostas pelo mercado, diminuindo interesse do coco babaçu, outro motivo para a queda na produção foi o início da segunda frente de expansão da pecuária na década de 1970 e implantação de projetos de desenvolvimento de parques industriais no estado do Maranhão (JUNIOR; DMITRUK; MOURA, 2014), sendo publicados, nesse período, diplomas legais como os Decretos Estaduais 5.549 e 5.550, que permitiram que as empresas madeireiras para a produção de celulose e a cultura da cana-de-açúcar desmatassem grandes áreas de babaçuais (REGO; ANDRADE, 2005). O declínio na produção de amêndoas, pode ser observado em uma comparação entre a Produção da Extração Vegetal e Silvicultura – PEVS 1986, que registrou uma produção de 189 097 t de amêndoas no ano de 1986 (IBGE, 1986) contra 54 330 t extraídas no ano de 2017 (IBGE, 2017).

Mesmo com a redução de cerca de 70% na produção de amêndoa, a exploração do babaçu ainda desempenhava sua importância econômica e social para mais de 300 mil famílias extrativistas só no estado do Maranhão, que contavam com a produção do azeite ou venda da amêndoa para subsistência (SILVA, 2008). O pilar da cadeia extrativista do coco babaçu continua composto por mulheres chamadas de “quebradeira de coco”. Elas são responsáveis pela coleta, transporte até seus quintais, quebra do coco para extração da amêndoa para produção do azeite e, em muitas das vezes, elas produzem carvão para

cocção com os cavacos resultantes da quebra do coco (BRASIL, 2016). Para a quebra do coco as mulheres sentam-se no chão, apoiam um machado sob as pernas e utilizam um porrete de madeira para rachar o coco e ter acesso as amêndoas, sendo necessária prática para quebrar o endocarpo, que é bastante duro, sem danificar as amêndoas (CARRAZZA et al., 2012 apud SILVA; BASTOS, 2016). Em uma análise ergonômica de trabalho realizada por Vale et al. (2018) em uma cidade do interior do Maranhão o autor constatou que 93,5% das quebradeiras de coco declara sentir alguma dor ou desconforto físico devido ao trabalho de cata, transporte e quebra do coco.

A tentativa de mecanizar a quebra do coco babaçu tem registros desde meados da década de 1930. No ano de 1937 foi construída uma máquina que propunha quebrar cem cocos por minuto, mas além de apresentar custo elevado e difícil operação, a máquina não fazia a separação das amêndoas das demais partes do coco de forma eficaz (BERRÊDO et al., 2017). Outro equipamento de menor porte foi desenvolvido em 1959. Essa máquina cortava o coco ao meio com um movimento vertical de uma lâmina (BABAÇU et al., apud BARBOSA, 2013). Outra máquina que corta o coco ao meio por meio do movimento circular de uma lâmina foi desenvolvida pela Fundação Mussambê no estado do Ceará (PERFEITO, 2019).

Muitos desses equipamentos para quebra de coco de grande porte são vistos com preocupação por comunidades que possuem sua subsistência garantida pela venda das amêndoas do coco babaçu, pois muitos das quebradeiras tem a visão da máquina como uma concorrência, tanto financeira na hora de vender as amêndoas, pois ela possivelmente irá diminuir os custos de produção, e também uma concorrência por matéria prima (BARBOSA, 2013). Considerando um contexto social em que a máquina possa ser utilizada pelas quebradeiras de coco, está sendo construída por este autor e com ajuda do Técnico de Laboratório da Faculdade UnB-Gama Danilo Oliveira, de forma empírica, uma máquina de quebrar coco babaçu baseado no projeto desenvolvido pela Fundação Mussambê, para ser usada no aproveitamento e do coco babaçu da cidade de Palmeira do Piauí-PI, onde grande maioria do coco babaçu não é colhido e os frutos deterioram nos cocais. O intuito desse projeto é utilizar a máquina em uma propriedade rural do autor desta monografia e compartilhar o equipamento com as quebradeiras de coco da comunidade local.

Sob a perspectiva do autor, que é natural da cidade de Palmeira do Piauí e mantém vínculos porque sua família reside naquela cidade, a economia do município é baseada na agricultura familiar. As principais atividades são a produção de cachaça e outros derivados da cana-de-açúcar, produção de farinha de mandioca e tapioca, criação de bovinos e ovinos, colheita de castanha de caju, extrativismo do buriti para produção de doce e azeite, que é vendido para empresa de cosméticos, para produção de azeite comestível de babaçu, dentre outras atividades. Especialmente no extrativismo do coco

babaçu, as quebradeiras usam essa atividade para complemento de renda, vendendo o azeite por valores que variam entre R\$20,00 e R\$25,00 o litro. A forma de acesso ao coco se dá, de forma geral, por meio de colheita nas propriedades de vizinhos. Muitas vezes o coco é doado e outras vezes o proprietário dos cocais requer pagamento em forma de partilha, de meia, dois para um ou três para um, e em muitos casos há também vizinhos que levam o coco até a casa da quebradeira e cobra uma renda de meia.

A hipótese levantada para a construção da máquina de quebrar coco é facilitar a quebra do coco pelas quebradeiras, que é uma atividade onerosa à sua saúde, além de contribuir para aumentar a produtividade e consequentemente para melhorar sua renda. As quebradeiras de Palmeira do Piauí-PI não fazem a utilização dos resíduos do fruto, denominados regionalmente por “cavacos”, que representam cerca de 97% do coco, compondo-se do epicarpo, mesocarpo e endocarpo, resultantes da quebra do coco. Nesse contexto, identificou-se a possibilidade de fazer o aproveitamento energético desses resíduos que são gerados em função extração da amêndoa para aproveitamento econômico.

O coco babaçu é composto por quatro partes: epicarpo (12,6%), mesocarpo (20,4%), endocarpo (58,4%) e amêndoas (8,7%) (CARRAZZA et al., 2012). O epicarpo é geralmente usado como combustível na cocção de alimentos (BRASIL, 2016); (SILVA, 2008); (CARRAZZA et al., 2012). Como combustível primário ele apresenta poder calorífico superior à das melhores madeiras usadas como lenha e ao carvão mineral (PORTO et al., 2004);(TEIXEIRA, 2002).

O epicarpo também pode ser utilizado na produção de carvão fino de ótima qualidade para fazer briquetes para uso siderúrgico ou para produção de carvão ativado (PORTO, 1984). O mesocarpo é composto de 63% de amido, sendo propício para produção etanol (PAVLAK et al., 2007);(BELTRÃO; OLIVEIRA, 2007);(ZUNIGA et al., 2013); (WISNIEWSKI et al., 1981);(SILVA, 2008). O mesocarpo também produz um carvão de excelente qualidade (FERREIRA, 2011), mesmo não sendo indicado para carbonização, por possuir alta concentração de voláteis (TEIXEIRA, 2002). Já o endocarpo, a parte lenhosa do coco, possui elevado poder calorífico, sendo muito usado para produção de carvão.

O Carvão do endocarpo apresenta qualidade superior ao carvão de eucalipto, apresentando acima de 85% de carbono fixo, ausência de fósforo e apenas traços de enxofre, podendo ser aplicado na produção de gasogênios, operações metalúrgicas e siderúrgicas e uso doméstico (FERREIRA, 2011); (SILVA; BARRICHELO; BRITO, 1986); (SILVA, 2008); (TEIXEIRA, 2002); (BELTRÃO; OLIVEIRA, 2007). Na produção gases condensáveis, o endocarpo pode ser usado na produção de ácido acético, cetonas e alcatrão, além de produzir gases combustíveis e  $CO_2$  com a fração não condensáveis (PORTO, 1984).

A amêndoa do babaçu possui em média 60 a 68% de óleo (SANTOS, 2008). Por possuir uma composição predominante de ácido láurico, esse óleo, possui características

que favorecem a produção de biodiesel e bioquerosene (NASCIMENTO et al., 2009 apud FERREIRA, 2011) (BELTRÃO; OLIVEIRA, 2007); (LIMA et al., 2007); (SILVA, 2008).

O uso da máquina de quebrar coco babaçu na cidade de Palmeira do Piauí-PI poderá possibilitar o aproveitamento do coco babaçu que são desperdiçados nos cocais, devido à dificuldade de extração da amêndoa por processos manuais convencionais. A maior eficiência na extração de amêndoas irá gerar mais resíduos que não são aproveitados e se prestam para uma série de aplicações. Elenca-se a seguir os objetivos desse trabalho.

## 1.1 Objetivo Geral

O objetivo desse trabalho é o estudo teórico sobre o potencial energético do coco de babaçu para cocção e o desenvolvimento de protótipos para quebra do coco e carbonização.

### 1.1.1 Objetivos específicos

- Realizar uma fundamentação teórica para analisar o potencial energético do coco de babaçu para cocção, analisar modelos de máquinas para corte de coco, analisar modelos de fornos e rotinas de carbonização;
- Desenvolver e testar um protótipo de uma máquina de quebrar coco babaçu;
- Desenvolver um protótipo de um forno para a carbonização da biomassa;
- Realização de um teste piloto de carbonização do babaçu.

## 2 Metodologia

Nesse item estão descritos os métodos para alcançar os objetivos propostos. O fluxograma a seguir Figura(1)

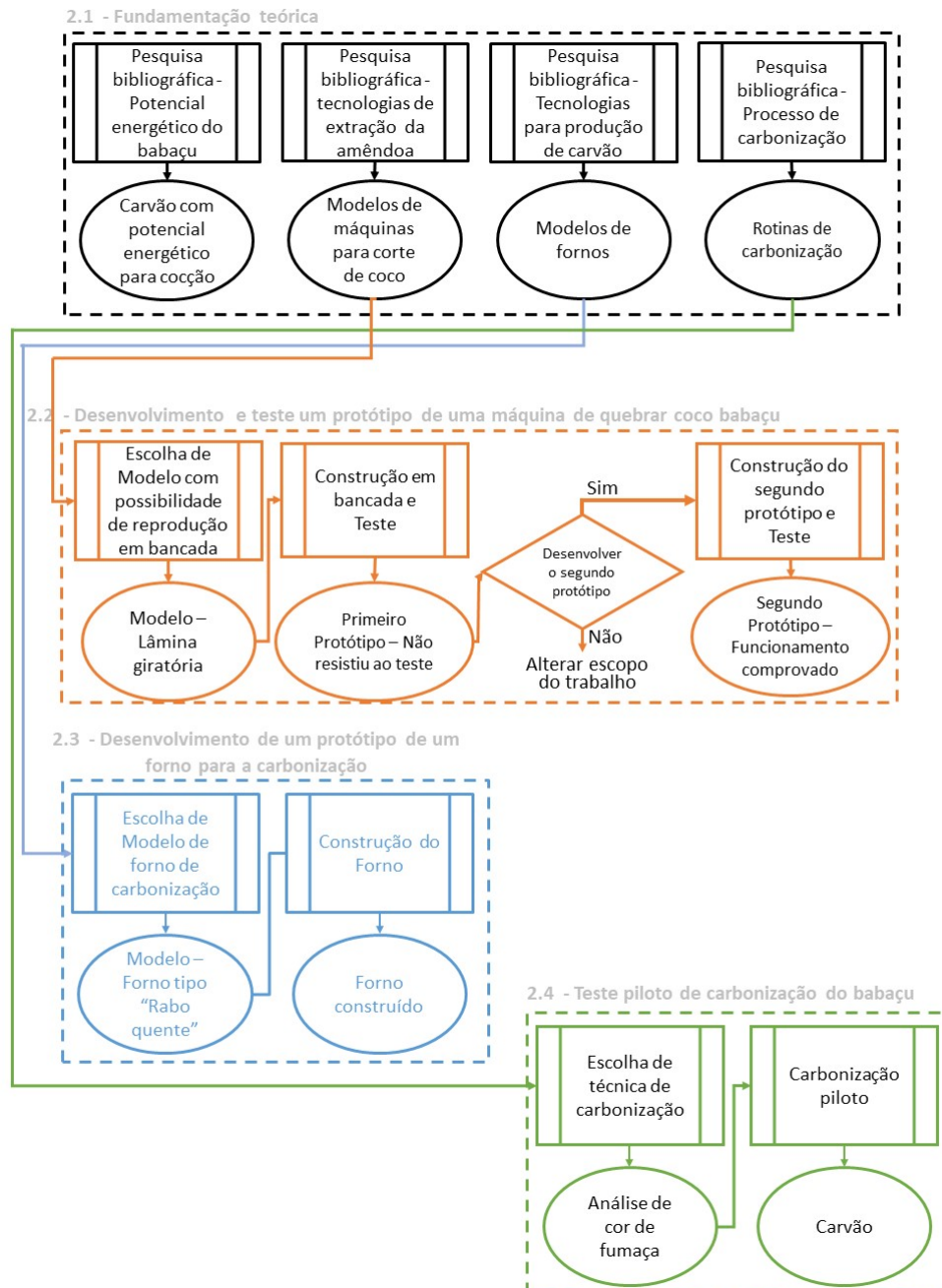


Figura 1 – Metodologia

## 2.1 Fundamentação teórica

A primeira etapa desse trabalho foi realizar uma pesquisa bibliográfica sobre o coco babaçu. Primeiramente foi feita uma pesquisa sobre a questão social e econômica, abordando a produção nacional de amêndoas ao longo dos anos; explanando sobre as dificuldades e cultura das quebradeiras de coco; apresentando os usos potenciais das partes seccionadas; também foram apresentados resultados de análises: elementar, imediata, determinação de poder calorífico, análise lignocelulósica, análise termogravimétrica, densidade real e aparente; Além de parâmetros para desenvolver um protótipo de um forno e procedimentos para a produção de carvão.

Essa pesquisa bibliográfica foi feita com objetivo identificar referências paramétricas de engenharia para a construção do forno de carbonização e realização da carbonização piloto. Em relação a máquina de quebrar coco babaçu, a pesquisa bibliográfica apresenta o funcionamento de outros sistemas de quebra de coco, que serão comparados com o sistema objeto de estudo deste trabalho.

## 2.2 Protótipo da máquina de quebrar o coco

O desenvolvimento do protótipo foi realizado nos seguintes passos:

### 2.2.1 Identificação de modelos de máquinas comerciais

Para identificação dessas máquinas foram feitas pesquisas em artigos científicos, pesquisas sobre modelos comerciais e protótipos (BERRÊDO et al., 2017), (BABAÇU et al., apud BARBOSA, 2013), (PERFEITO, 2019).

### 2.2.2 Elaboração de protótipo de baixa qualidade, construção das peças e montagem

Por meio da análise de vídeos de máquinas funcionando foram elaborados protótipos de qualidade, em desenho, para determinar a posição ideal da lâmina de corte. Em seguida foi desenvolvido o projeto em bancada, de forma empírica, nas dependências da oficina da FGA. Nessa parte foram desenvolvidas a lâmina e a carcaça.

O eixo da lâmina e a soldagem no eixo foram desenvolvidos em oficinas em Bom Jesus do Piauí.

A construção da base e montagem da máquina foram feitas em uma serralheria na cidade de Palmeira do Piauí.

Em função de problemas de dimensionamento do redutor de velocidade, o protótipo foi abandonado e um outro protótipo foi desenvolvido para cumprir os objetivos do

trabalho.

Esse segundo protótipo foi desenvolvido utilizando uma banca de serra, considerando a demanda de construir uma garra metálica para conduzir o coco com segurança para a serra.

## 2.3 Protótipo do forno de carbonização

O forno para carbonização foi construído considerando os modelos identificados na metodologia (CARRAZZA et al., 2012), (LIMA; SOUZA, 2000), (OLIVEIRA, 2012), (ARRUDA, 2007), (OLIVEIRA et al., 2009). O modelo escolhido foi o tipo “Rabo quente (OLIVEIRA, 2012), (CEMIN, 2010). Esse modelo foi escolhido em função da facilidade de construção e custos.

## 2.4 Teste de carbonização

O teste de carbonização foi feito com os resíduos de coco de babaçu cortados no protótipo de máquina de corte em um dia, cerca de 50 latas. O sentido da carbonização é de cima para baixo e foi usado a técnica de análise da cor da fumaça para conduzir a carbonização.

## 3 Resultados

Neste item são apresentados os resultados do estudo de fundamentação teórica, construção e teste do protótipo de corte dos cocos, construção do forno e teste piloto de carbonização.

### 3.1 Fundamentação teórica

Nos tópicos a seguir serão apresentados a revisão da literatura, como embasamento teórico para a construção do forno de carbonização do babaçu e para a carbonização piloto, também será apresentado modelos de máquinas de quebrar coco babaçu, desenvolvidos ao longo da história, permitindo a comparação dos resultados com trabalhos realizados por outros autores.

#### 3.1.1 Tipificação da biomassa

A classificação botânica do coco babaçu encontrada na literatura consultada é controversa. De acordo com (PINHEIRO; FRAZÃO; BALICK, 2005 apud ARAÚJO, 2008) a espécie *Orbignya phalerata* é o coco babaçu propriamente dito, com maior distribuição geográfica e maior importância econômica. Essa classificação também é confirmada por (TEIXEIRA, 2002 apud PROTÁSIO, 2014); (PINHEIRO, 2000 apud PORTO et al., 2004); (ALBIERO et al., 2007 apud ZYLBERSZTAJN et al., 2009)

A espécie *Orbignya phalerata* – distribui-se por doze estados brasileiros, situada nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, com maiores concentrações e aproveitamento para atividade extrativista nos estados do Maranhão, Piauí e Tocantins (ARAÚJO, 2008). A palmeira Fig. (2) possui uma altura média entre 10-30 metros com tronco cilíndrico e copa com formato de taça, sendo que cada planta pode apresentar em média de três a seis cachos, até oito cachos como pode ser visto na Fig. (3). com até 400 cocos cada. Os frutos possuem formato elipsoidal com 10-12 cm de comprimento, pesando entre 90 e 280g, contendo de 1-8 sementes. O crescimento da planta é lento com início de frutificação entre 8-12 anos alcançando maturidade aos 15 anos, possuindo uma vida média de 35 anos. A planta floresce entre os meses de janeiro e abril e frutifica entre os meses de agosto e janeiro (HORTO, 2016); (TEIXEIRA, 2002); (BRASIL, 2016); (LORENZI et al., 1996 apud CARRAZZA et al., 2012)





Figura 2 – Babaçuais localizado na Cidade de Palmeira do Piauí-PI (Autor,2019)



Figura 3 – Palmeira do babaçu com 8 cachos. Foto registrada na Cidade de Palmeira do Piauí-PI (Autor,2019)

O fruto possui quatro maiores partes, o epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoa. Na Tabela. (3.1.1) são demonstrados alguns usos energéticos e não energéticos de cada parte do fruto, identificado por vários autores.

Parte	Uso não energético	Uso energético	Referência
Epicarpo	Xaxim, estofado de banco de carro, vasos, placas, embalagens que substituem o isopor, adubo orgânico, carvão ativado	Combustível primário, carvão fino	(FERREIRA, 2005 apud CARRAZZA et al., 2012); (BRASIL, 2016); (SILVA, 2008); (PORTO, 1984)
Mesocarpo	Alimentação humana, óleo comestível, ração animal, aglomerante para fabricação de briquetes	Etanol, Carvão	(FERREIRA, 2005 apud CARRAZZA et al., 2012); (PAVLAK et al., 2007); (BELTRÃO; OLIVEIRA, 2007); (ZUNIGA et al., 2013); (WISNIEWSKI et al., 1981); (SILVA, 2008); (FERREIRA, 2011); (PORTO et al., 2004); (FILHO, 1968) apud (TEIXEIRA, 2000)
Endocarpo	Artesanatos diversos, carvão ativado, coque, grafite, gases condensáveis (ácido acético, piche etc.)	Combustível primário, carvão, metanol, gases combustíveis	(FERREIRA, 2005) apud (CARRAZZA et al., 2012); (FERREIRA, 2011); (SILVA; BARRICHELO; BRITO, 1986); (SILVA, 2008); (PORTO et al., 2004); (TEIXEIRA, 2002); (BELTRÃO; OLIVEIRA, 2007); (FILHO, 1968) apud (TEIXEIRA, 2000)
Amêndoa	Óleo comestível, ração animal, cosméticos, produtos de limpeza, indústria alimentícia, vegetariana, farmacêutica, química etc.	Biodiesel, bioquerosene	(NASCIMENTO et al., 2009) apud (FERREIRA, 2011); (BELTRÃO; OLIVEIRA, 2007) apud (LIMA et al., 2007); (SILVA, 2008)

Tabela 1 – Uso energético e não energético das partes segregadas do coco babaçu

Além do fruto, outras partes da planta possuem aplicações. A folha é utilizada para fazer artesanato e cobertura de casa, o palmito e a seiva são utilizados para alimentação humana, o caule é utilizado para estruturar construção ou como adubo orgânico quando decompostos (OLIVEIRA; ALEXANDRE; MAHMOUD, 2013); (PORTO et al., 2004); (FILHO, 1968); (TEIXEIRA, 2000).

Em um babaçual, sem controle do número de indivíduos a quantidade de palmeiras pode chegar a três mil, formando um aglomerado praticamente impenetrável (WISNIEWSKI et al., 1981). Na literatura pesquisada não se identificaram relatos de tentativas de domesticar a espécie, mas sim manejos dos maciços de forma a evitar a concorrência entre a espécie e possibilitar a colheita do coco. Dentre as diferentes formas de manejos propostas, WISNIEWSKI et al. (1981) foi sugerido um desbaste das áreas de forma de deixar uma densidade de oitenta a cem plantas por hectare, produzindo cerca de 16.544 kg de casca (epicarpo, mesocarpo e endocarpo) por ha/ano. Segundo Frazão (2001) a produção de cascas é de 2.260 kg/ha/ano.

Em um manejo que possibilita uma densidade de 141 a 160 palmeiras por hectare, May (1990 apud PORTO et al., 2004) estimou-se uma produtividade de 1.932 kg/ha de cascas, já KONO (apud PORTO et al., 2004) aferiu uma produtividade média de 2.300 kg/ha de cascas. Percebe-se uma discrepância entre os valores estimados por (WISNIEWSKI et al., 1981) e o estimado pelos outros autores. Isso pode dever ao fato de o autor dimensionar uma produção máxima por planta. Já os outros autores afirmaram usar métodos de pesquisa de campo. O único manejo claramente descrito nos trabalhos consultados é desbaste de algumas palmeiras de forma a evitar um adensamento e concorrência entre a mesma espécies. Os dados de produção kg/há/ano se referem ao peso da casca (epicarpo, mesocarpo e endocarpo) pois este trabalho de monografia visa a análise apenas desse subproduto da extração da amêndoa do coco. Foram utilizadas as proporções das partes do coco apresentada pelos autores consultados para subtração do peso das amêndoas do peso total de produção de coco por hectare.

### 3.1.2 Caracterização da Biomassa

A seguir são abordados alguns resultados encontrados na bibliografia para três tipos de análises, utilizadas para caracterizar a biomassa do babaçu

- Análise química elementar – determina com exatidão teores de carbono, hidrogênio, nitrogênio, enxofre e oxigênio que compõe uma determinada amostra.
- Análise química imediata - possui objetivo de identificar teor de umidade, teor de cinzas, teor de materiais voláteis e teor de carbono fixo de uma amostra vegetal.

- Análise termogravimétrica – análise da variação da massa de uma amostra em função da temperatura ou do tempo.

Os dados apresentados a seguir servirão como referencial para comparações com as análises, que serão realizadas para alcançar os objetivos desse trabalho de monografia. Não cabendo uma interpretação minuciosa desses dados nesta seção, pois estas análises serão feitas nos capítulos de Resultados e Discussões.

A composição percentual das partes constituintes do coco babaçu, epicarpo mesocarpo estão apresentados na Tabela. (2)

A composição elementar do epicarpo e endocarpo são apresentadas nas Tabela. (3) e Tabela. (4) respectivamente. O endocarpo, que compõe entre 57% e 63% da massa total do coco, possui cerca de 27,9% de lignina, biomassa que precisa de maiores temperaturas para carbonizar, mas gera um carvão com alta densidade, uma característica dos briquetes de carvão - carvão triturado, humedecido e extrudado, com densidade alta e uniforme.

	(ABREU, 1940)	(GONSALVES; FREITAS, 1955)	(FILHO, 1968)	(FILHO, 1881)	(FILHO, 1989)
Epicarpo	11	12,6	11	12	11
Mesocarpo	23	22,3	23	20	23
Endocarpo	57	57,3	59	63	59
Amêndoa	9	7,6	7	7	7

Tabela 2 – Composição percentual das partes constituintes do coco babaçu (TEIXEIRA, 2002)

A composição elementar lignocelulósica do epicarpo e endocarpo são apresentadas nas Tabela. (3) e Tabela. (4) respectivamente.

	Porcentagem [%]
Lignina	27,9
Extrativos	7,8
Hocelulose	64,3
Cinzas	1,94

Tabela 3 – Composição elementar lignocelulósica do endocarpo (SILVA; BARRICHELO; BRITO, 1986 apud TEIXEIRA, 2002)

	Porcentagem [%]
Lignina	17,8
Celulose	62
Hemicelulose	13
Umidade	6
Cinzas	1,1

Tabela 4 – Composição elementar lignocelulósica do epicarpo, (FRANCO, 2010)

O uso integral do coco babaçu para fins energéticos pode gerar 12400 kJ/kg de coco. Esse valor resulta do uso do endocarpo para produção de carvão, mesocarpo para produção de álcool e óleo para produção de biocombustível (PORTO, 1984). O poder calorífico apresentando por cada parte do coco segundo FILHO (1968 apud TEIXEIRA, 2002) em kJ/kg são: de 18054,1 – epicarpo; 16202,9 – mesocarpo; 18840, 6 – endocarpo. Não está claro, nos dados disponíveis se foi considerado PCS ou PCI. Os valores de PCS e PCI são apresentados por Teixeira, 2003, também em kJ/kg: epicarpo PCS 21.724, PCI 20.238; mesocarpo PCS 15.522, PCI 13.744; endocarpo PCS 22.698, PCI 21.179;

Teixeira (2002) fez análise elementar e imediata do endocarpo do epicarpo, mesocarpo e endocarpo do coco babaçu Tabela. (5).

	Análise imediata			Análise elementar			
	Voláteis [%]	Rendimento em carbono fixo [%]	Cinzas [%]	C [%]	H [%]	N [%]	O [%]
Epicarpo	88,16	9,62	2,22	45,69	5,65	0,57	45,87
Mesocarpo	94,62	4,66	0,88	39,27	6,47	0,41	52,97
Endocarpo	83,4	15,16	1,71	44,18	5,65	0,5	47,96

Tabela 5 – Análise imediata, análise elementar do epicarpo, mesocarpo e endocarpo (TEIXEIRA, 2002)

A análise termogravimétrica feita por Teixeira (2002) para o epicarpo e endocarpo estão apresentados nas Fig. (4) - Fig. (7) e esses gráficos nos fornecem as informações contidas na Tabela. (6).



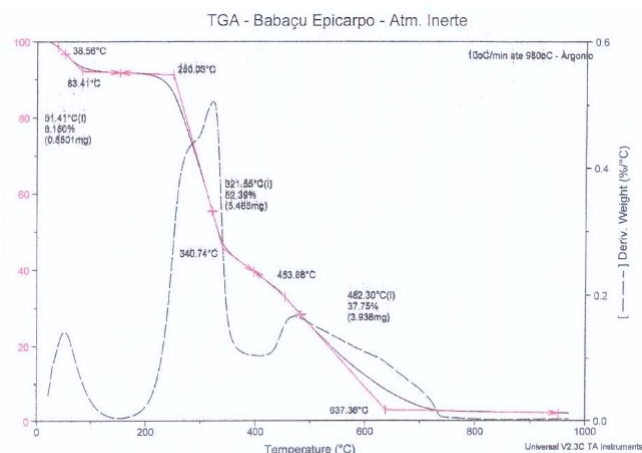


Figura 15: Curvas da Análise termogravimétrica para o epicarpo, em atmosfera inerte.

Figura 4 – Curvas de análise termogravimétrica para o epicarpo, em atmosfera inerte (TEIXEIRA, 2002)

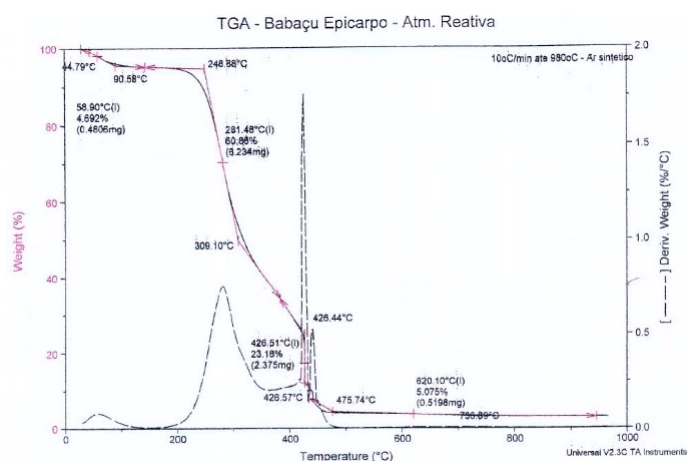


Figura 16: Curvas da Análise termogravimétrica para o epicarpo, em atmosfera reativa.

Figura 5 – Curvas da análise termogravimétrica para epicarpo, em atmosfera reativa (TEIXEIRA, 2002)

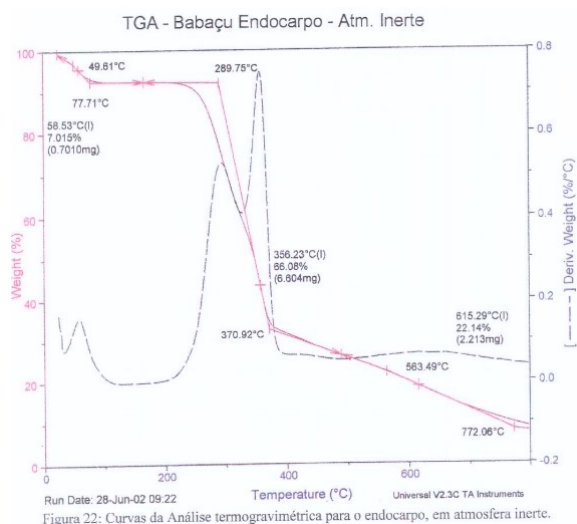


Figura 6 – Curvas da análise termogravimétrica para o endocarpo, em atmosfera inerte (TEIXEIRA, 2002)

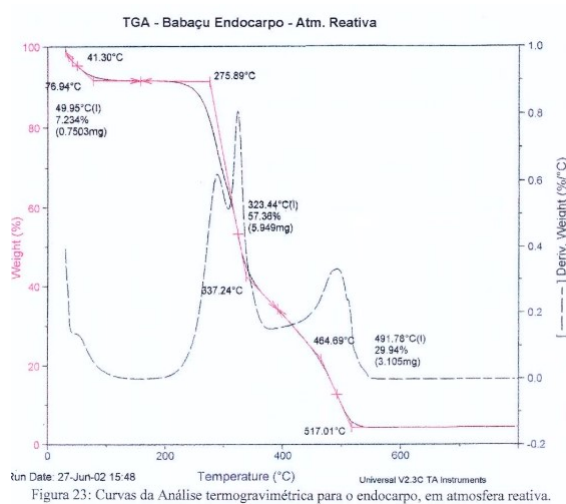


Figura 7 – Curvas da análise termogravimétrica para o endocarpo, em atmosfera reativa (TEIXEIRA, 2002)

	Atmosfera TGA	Faixa de temperatura [°C]	Variação de massa [%]	Comportamento
<b>Epicarpo</b>	inerte	25-83,41	8,15	Secagem
		250-453,86	52,39	Liberação de voláteis
		453,86-637,36	37,75	Carbono Fixo
		637,36-971	1,71	Cinzas
	reativa	25-90,58	4,692	Secagem
		248,88-426,44	60,86	Liberação de voláteis
		426,44-426,57	23,18	Ignição do Material
		456,57-736	5,075	Perda de carbono fixo
<b>Endocarpo</b>	inerte	25-77,86	7,022	Secagem
		261,11-370,3	66,61	Liberação de voláteis
		370,3-770,2	22,82	Carbono Fixo
		770,2-967,2	2,24	Cinzas
	reativa	25-76,82	7,216	Secagem
		261,71-336,52	56,59	Liberação de voláteis
		336,52-517,03	30,83	Carbono Fixo
		517,03-967,7	5,364	Cinzas

Tabela 6 – análise termogravimétrica para o epicarpo e endocarpo (TEIXEIRA, 2002)

Já SILVA, Barrichelo e Brito (1986) trabalhou apenas com o carvão do endocarpo obtendo os seguintes dados de rendimento gravimétrico Tabela. (7). Os resultados da análise imediata do carvão estão apresentados na Tabela. (8).

Temperatura de carbonização [°C]	Redimento Gravimétrico		
	Carvão [%]	Líquido condensável [%]	Gás condensável [%]
300	38,13	41,53	20,34
500	31,72	43,37	24,91
700	30,63	45,78	23,51

Tabela 7 – Dados de rendimento gravimétrico do carvão do endocarpo. Dados obtidos por SILVA, Barrichelo e Brito (1986)



Temperatura de carbonização [°C]	Análise imediata			
	Voláteis [%]	Cinzas [%]	Redimento em carbono fixo [%]	Carbono fixo [%]
300	34,59	4,37	23,28	61,04
500	9,22	6,03	26,88	84,75
700	3,63	6,64	27,49	89,72

Tabela 8 – Dados da análise imediata do carvão do endocarpo re alisada por [SILVA, Barrichelo e Brito \(1986\)](#)

Os resultados apresentados acima (Tab. (2) a Tab. (9); Fig. (4) a Fig. (7) ) originam de análises realizadas nas partes segregadas do coco, epicarpo, mesocarpo e endocarpo. Foi encontrado apenas uma bibliografia que apresenta análises do cavaco resultante da quebra do coco babaçu da maneira tradicional, sem segregar o epicarpo mesocarpo e endocarpo. Essa amostra é a que mais se aproxima das amostras que serão carbonizadas neste trabalho. A Fig. (8) representa a amostra análise feita por ([PROTÁSIO, 2014](#)) e a Fig. (9) representa a amostra que será carbonizadas neste TCC. Essa análise foi realizada por [PROTÁSIO \(2014\)](#).



Figura 8 – Cavaco originado da quebra do coco babaçu da forma tradicional, com machado. (Autor, 2019)



Figura 9 – Cavaco gerado pela máquina de quebrar coco sugerida por este trabalho. (Autor, 2019)

Os resultados da análise elementar lignocelulósica e análise elementar NCH feita por [PROTÁSIO \(2014\)](#) estão apresentados na tabela Tabela. (9) e Tabela. (10) respectivamente.

	Porcentagem [%]
Extrativos	5,59
Lignina	31,03
Hocelulose	61,65
Cinzas	1,73

Tabela 9 – composição elementar lignocelulósica da casca do coco babaçu ([PROTÁSIO, 2014](#))

	Porcentagem [%]
N	1,31
C	47,28
O	43,87
H	5,81
Cinzas	1,73

Tabela 10 – Composição química elementar e teor de cinzas dos resíduos do coco babaçu ([PROTÁSIO, 2014](#))

[PROTÁSIO \(2014\)](#) realizou também análise imediata apresentado na Tabela (12) e a caracterização energética da biomassa em natura Tabela. (13)

Tabela 11 – Add caption

	Porcentagem [%]
Materiais voláteis	78,71
Carbono fixo	19,86
Cinzas	1,73

Tabela 12 – Composição química imediata dos resíduos do coco babaçu (PROTÁSIO, 2014)

	Resíduos do coco Babaçu
PCS (MJ/kg)	18,47
PCI (MJ/kg)	17,16

Tabela 13 – Caracterização energética (PROTÁSIO, 2014)

A análise termogravimétrica realizada por PROTÁSIO (2014) estão apresentadas na Fig. (10):

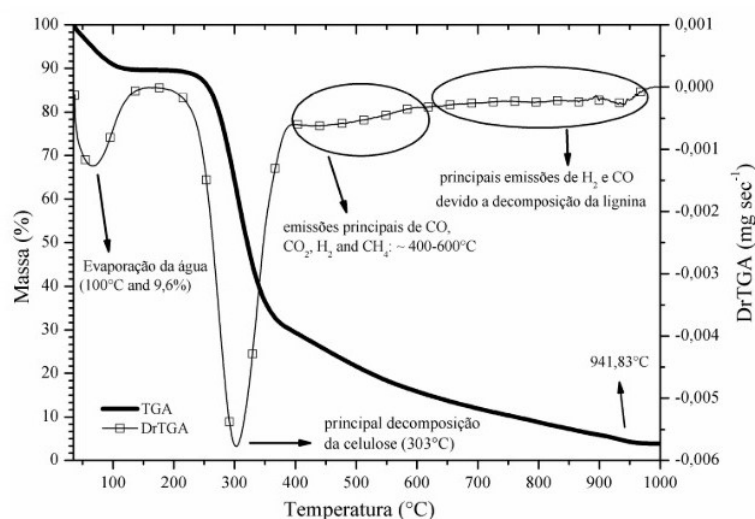


Figura 10 – Análise termogravimétrica. Perda de massa em função da temperatura dos resíduos do coco babaçu sob fluxo contínuo de nitrogênio (PROTÁSIO, 2014)

### 3.1.3 Produção de Carvão

A produção de carvão vegetal se dá basicamente pela exposição do material a ser carbonizado, a uma temperatura entre 450 °C e 600 °C em uma atmosfera pobre em oxigênio e controlada. Para início do processo, é necessário iniciar a combustão da biomassa exposta a atmosfera sem restrição de oxigênio, deixando o tempo necessário

para que a biomassa tenha condições de se exposta a uma temperatura necessária para sustentar a continuação do processo de pirólise para quando o forno tiver as entradas de ares restritas (DALLASTRA, 2010). Os produtos extraídos desse processo possuem maior potencial energético e melhores características que a biomassa original não carbonizada (PROTÁSIO, 2014).

O processo de pirólise se dá pela decomposição térmica dos constituintes da biomassa vegetal. Esse processo ocorre nas seguintes etapas:

1. Temperatura entre 20 °C e 110 °C A massa absorve calor e reduz a umidade (PROTÁSIO, 2014).
2. Entre 110 °C e 270 °C Últimos resquícios de umidade são extraídos, e se inicia a liberação de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  e ácido acético e metanol. A lignina começa a se degradar nos 150 °C e termina pelos 900 °C. Nesta etapa temos como resultado madeira torrada (OLIVEIRA, 2017) (MOURA; CAMPOS; MAGALHÃES, 2011).
3. Entre 270 °C e 290 °C Neste estágio tem início a decomposição exotérmica; Gases e alcatrão continuam sendo liberados como consequência da decomposição da lignina; há uma perda de massa pelo início da degradação da celulose e hemicelulose (PROTÁSIO, 2014).
4. Entre 290 °C e 400 °C Continua a decomposição da celulose e hemicelulose liberando  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ , não condensáveis e secundários como ácido acético, metanol, acetona, etc; Resíduos
5. Entre 400 °C e 500 °C Formação de carvão praticamente completa; Carvão com grande quantidade de alcatrão, sendo necessário que o material seja mais aquecido para liberar este alcatrão e aumentar o adensamento de carbono (MOURA; CAMPOS; MAGALHÃES, 2011).

O processo para a produção de carvão é basicamente este, mas outras etapas de aumento de aquecimento podem gerar outros produtos, como um carvão maiores taxas de carbono fixo e liberação de gases combustíveis.

O equilíbrio entre combustão e carbonização é importante no processo de produção do carvão vegetal e, para obter uma melhor eficiência nesse processo, é necessário conhecer algumas características da matéria se ser carbonizada. A densidade da biomassa, o tamanho, a composição química, as temperaturas e tempos de decomposição de cada elemento constituinte, principalmente a lignina. Na Fig. (11) pode-se notar características dos elementos constituintes na biomassa vegetal, expostas a variação de temperatura, e podemos verificar a importância de se conhecer a composições químicas dos elementos para definir a rotina de carbonização ideal para se obter diferentes qualidades de carvão.

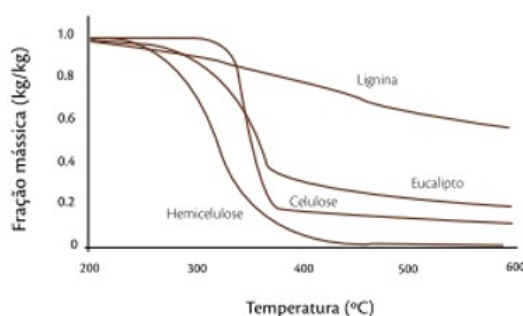


Figura 11 – Gráfico de decomposição térmica dos componentes da madeira (ESTRATÉGICOS, 2015)

### 3.1.4 Tecnologias empregadas na produção de carvão em pequena escala

Algumas técnicas disponíveis para a produção de carvão em pequena escala que possam se adequar ao tipo de resíduo gerado na quebra do coco babaçu são apresentadas neste item. Em um manual de aproveitamento integral do coco babaçu, duas tecnologias são apresentadas: fornos caieira ou trincheira e fornos produzidos com tambor de metal de 200l (CARRAZZA et al., 2012).

Em fornos caieira ou trincheira o material a ser carbonizado é depositado em uma vala feita no chão. CARRAZZA et al. (2012) propõe primeiro a queima do coco por cima da trincheira aberta. Quando for possível observar uma combustão intensa do coco, joga-se água de forma a diminuir as labaredas e posteriormente se faz a cobertura com capim ou folhagem e terra, deixando as cascas do coco carbonizarem lentamente Fig. (12). Em outras propostas para a mesma técnica, a cobertura com folhagens e terra é feita antes da combustão, deixando-se um espaço na cobertura para se dar início a combustão (CEMIN, 2010).



Figura 12 – Método de produção de carvão de coco babaçu em caieira (CARRAZZA et al., 2012)

Nos fornos feitos de tambores de metal de 200 L, método mais difundido pelas

catadoras, as cascas são dispostas em camadas, ateando fogo a cada camada. Como no método anterior, quando ocorre uma combustão intensa, o tambor é coberto por folhagens e areia de modo a cessar a combustão do material Fig. (13) (CARRAZZA et al., 2012). Um protótipo de forno de carbonização de baixo custo utilizando um tambor de 200 L foi proposto por Lima e Souza (2000). O forno consiste em um tambor de 200 L, com tampa e aro de vedação. O tambor possui quatro furos na base, igualmente espaçados com cerca de 5 cm de diâmetro para permitir a ventilação, de modo a assegurar a queima e saída de gases. A tampa possui uma chaminé de modo a também possibilitar a saída de gases podendo ser fechada quando necessário.

O equipamento é apoiado em três tijolos para permitir a passagem de ar por baixo para dentro do forno Fig. (14). O equipamento funciona da seguinte forma, uma camada de folhagem seca é disposta no fundo do tambor para facilitar a ignição do material a ser carbonizado que é colocado no recipiente até a altura da tampa. Uma vez estabelecida a combustão do material, o forno é coberto e vedado com a tampa. O momento correto de vedação do forno foi estimado de forma empírica observando a cor, volume e temperatura da fumaça. Uma vez concluída a carbonização, a tampa da chaminé é fechada e são retirados os tijolos da parte de baixo do tambor colocando-se areia na base do forno para isolamento do forno. Nos testes, esse forno apresentou um rendimento de 25% (LIMA; SOUZA, 2000).





Figura 13 – Produção de carvão com cascas do coco babaçu utilizando tambores de 200l ([CARRAZZA et al., 2012](#))

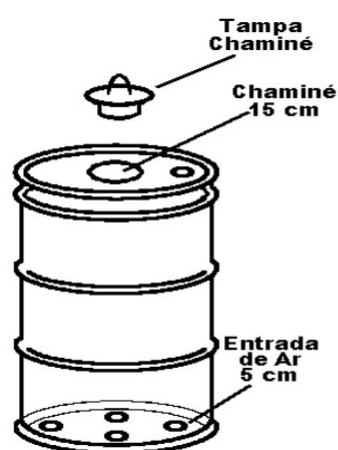


Figura 14 – Forno de carbonização de modelo LC2 200 L ([LIMA; SOUZA, 2000](#))

Outras tecnologias que também podem ser usadas para carbonização em pequena escala são a forno “rabo-quente” e forno de superfície. Existem outras variações para essas duas tecnologias, mas com princípio de funcionamento parecido.

Fornos “rabo-quente” Fig. (15) são produzidos basicamente com tijolos assados e argila, o forno possui forma de semiesfera, com uma única porta e geralmente não possui chaminé. Durante a construção são deixados orifícios em várias cotas do forno para a exaustão dos gases oriundos da carbonização. Os orifícios da base são chamados de “tatus”, e os demais orifícios são chamados de “filas” ou “baianas”. O Carregamento do forno é feito pela porta que é parcialmente fechada com argila e tijolos, deixando um espaço para iniciar a combustão do material. Quando se inicia a combustão, a abertura deixada na porta é selada e o controle da combustão é feita pelos orifícios deixados no forno. O controle da combustão ocorre pela observação da cor da fumaça que sai dos orifícios. Inicialmente sai uma fumaça branca e densa, que caracteriza a saída de vapor de água, de todos os buracos, que são fechados à medida que a fumaça fica azulada, significando que naquela cota a biomassa já foi carbonizada. Os buracos são fechados de cima para baixo, primeiramente as “filas” ou “baianas” até alcançar a cota dos “tatus”, feitos na base do forno (CEMIN, 2010). O Controle do processo de carbonização é feito de forma empírica, dependendo principalmente da experiência do carvoeiro. Devido a essa falta de controle, essa tecnologia apresenta baixo rendimento gravimétrico, entre 20% e 28% (OLIVEIRA, 2012).

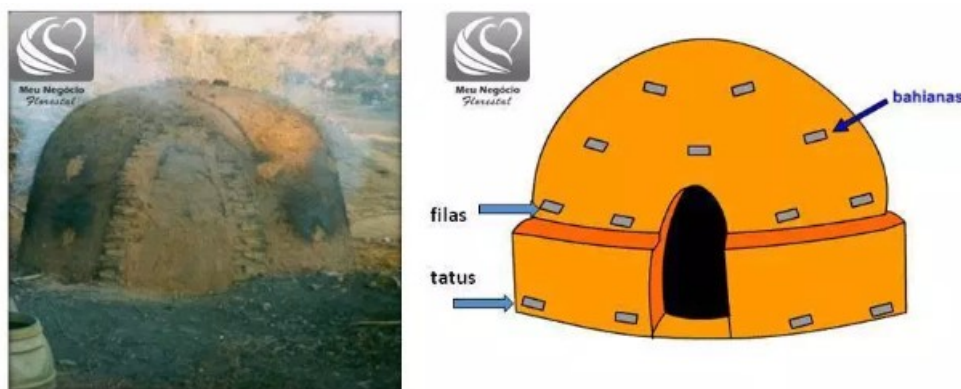


Figura 15 – Forno “rabo-quente” (COMO..., )

Fornos de superfície Fig. (16) apresentam funcionamento semelhante aos fornos “rabo-quente”, sendo diferenciado pela presença de uma chaminé lateral que possibilita a exaustão dos gases da parte central do forno, possibilitando assim um dinâmica de carbonização mais uniforme, melhorando o fluxo térmico de gases no interior do forno (OLIVEIRA, 2012). Nesse sistema não possui orifícios chamados “baianas”, o controle do fluxo de ar é feito por orifícios feitos na base do forno, os “tatus” (COMO..., ). O forno de superfície apresenta rendimento gravimétrico variando de 28% a 32% (OLIVEIRA, 2012).



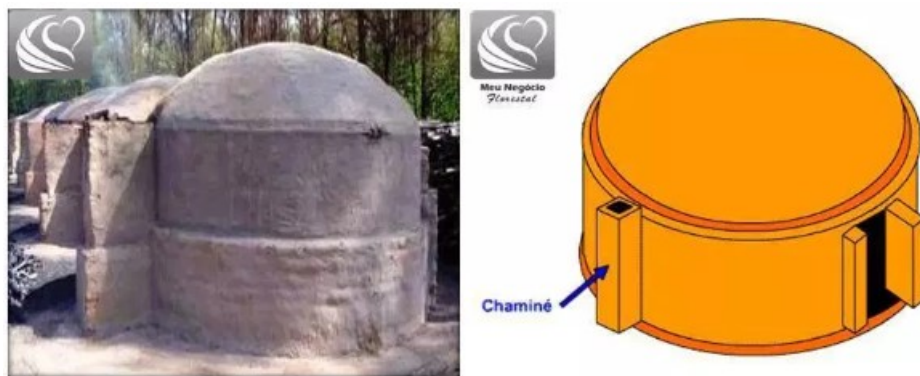


Figura 16 – Forno de superfície (COMO..., )

Técnicas de monitoramento de temperatura podem ser empregadas na nos fornos de “rabo-quente” e fornos de superfície para melhorar a eficiência de carbonização. A medição pode ser feita através de termopar ou medição em vários pontos utilizando termômetros infravermelho. Este processo se dá com a instalação de tubos metálicos com tampas que permitem a abertura e medição de temperatura em algumas cotas onde se deseja fazer o monitoramento da temperatura no forno, possibilitando assim a identificação e correção de desvios no processo de carbonização em tempos real, amenizando as falhas operacionais. O monitoramento de temperatura possibilita a produção de carvão mais homogêneo, com maior rendimento gravimétrico (ARRUDA et al., 2011); (OLIVEIRA et al., 2009); (OLIVEIRA, 2012).

### 3.2 Desenvolvimento do protótipo da máquina de quebrar coco babaçu

Dois protótipos de máquina de quebrar coco babaçu foram construídos. O primeiro protótipo utilizou como modelo a máquina de quebrar coco babaçu, construída e patenteada pela Fundação Mussambê, localizada no estado do Ceará.

Através da observação de uma reportagem realizada com a Fundação, foi possível analisar o funcionamento do equipamento. Juntamente com o Técnico de Laboratório relacionados com a área de mecânica, Danilo dos Santos Oliveira, procurou-se reproduzir o princípio de funcionamento da máquina, que consiste em uma lâmina giratória ligada a um sistema de engrenagens e polias para reduzir a velocidade e ganha o torque necessário para o corte do coco cuja biomassa é rica em lignina, conferindo dureza ao material.

Uma parte da máquina foi construída nas dependências da Faculdade do Gama – FGA/UnB, sendo que sua construção foi finalizada na residência do autor, de forma empírica, contando com a contribuição e experiência do Senhor Raimundo Leal, na cidade de Palmeira do Piauí, PI.

A máquina possui um motor de 2 CV (1740 rpm) ligado a um redutor de velocidade de 40 para 1, através de um sistema de polias de 10 para 1. O redutor de velocidade é ligado ao eixo da lâmina através de dois acoplamentos. O eixo da lâmina é preso por dois mancais em uma estrutura metálica, que tem as funções de proteger a lâmina e servir como base para o corte do coco.

O primeiro protótipo foi construído Figura 17, mas o redutor de velocidade (de 40 para 1) e um acoplamento, que transmitia o torque do redutor para o eixo da lâmina, não resistiram ao primeiro teste. Apenas um acoplamento, na Figura 17 é possível de ser observado, pois o outro quebrou no teste. Após o evento concluiu-se que o redutor necessário para que a máquina funcione é 2 CV e o utilizado foi, foi um de 1/2 CV.

Devido à limitação de alguns recursos, foi decidido deixar o primeiro protótipo para finalizá-lo futuramente e construir um segundo protótipo. Dessa forma foi decidido usar uma banca de serra, para cortar o coco, sendo o sistema diferente do primeiro protótipo, mas com resultado prático semelhante.

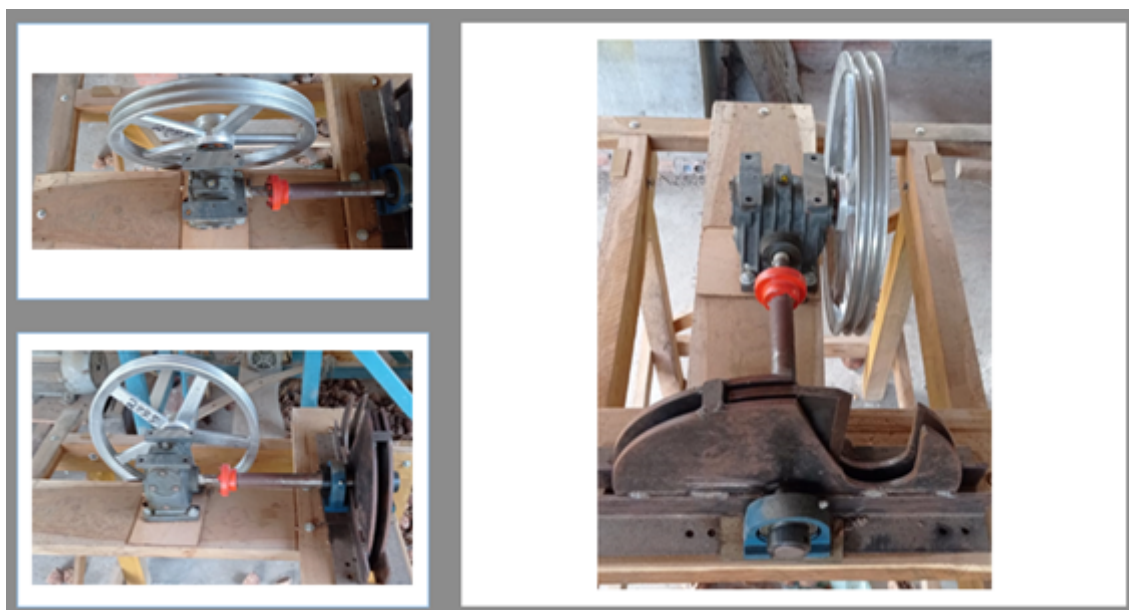


Figura 17 – Máquina de corte de coco babaçu. Primeiro protótipo

A metodologia para a construção do segundo protótipo, se deu através da colaboração do Senhor Gilmar Leal, também de forma empírica. Após um “brainstorm”, e análises da geometria do coco, foi decidido construir uma garra metálica, que poderia prender uma variedade de tamanhos e geometrias diferentes de cocos e guiá-los com segurança para o corte no disco de serra.

A garra Figura 18 foi construída com a colaboração dos Senhores Senhor Raimundo Leal e Gilmar Leal, usando um perfil metálico de 10 cm x 10 cm, ferramentas de marcenaria e serralheria. A banca de serra utilizada é alimentada por um motor de 2CV, que através

de um sistema de polias, transmitindo a rotação para o mancal, que prende um disco para corte de madeira de 35 cm de diâmetro. Foram acoplados à banca, sem comprometer sua estrutura, um guia para direcionar o coco até a serra de forma segura, um batente para que a garra metálica não toque no disco de corte e uma proteção para o coco não saltar no operador Figura 21.

O segundo protótipo possui uma dupla fila de dentes em um formato elíptico para prender o coco. Ela possui uma fenda possibilitando o corte do coco, sem que a lâmina toque no ferro da garra, podendo causar perda de capacidade de corte Figura 19 e Figura 20.

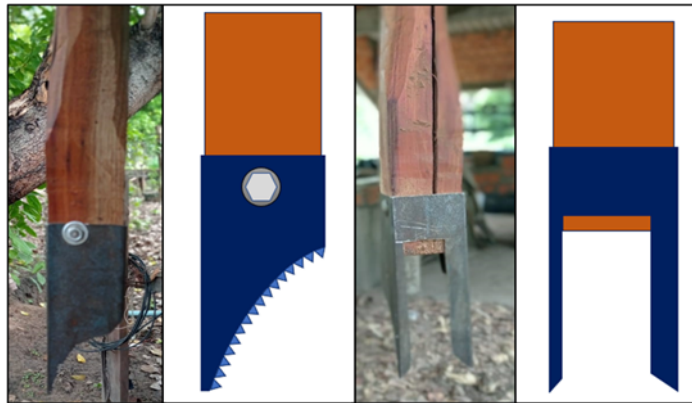


Figura 18 – Garra metálica usada para segurar o coco e serrá-lo

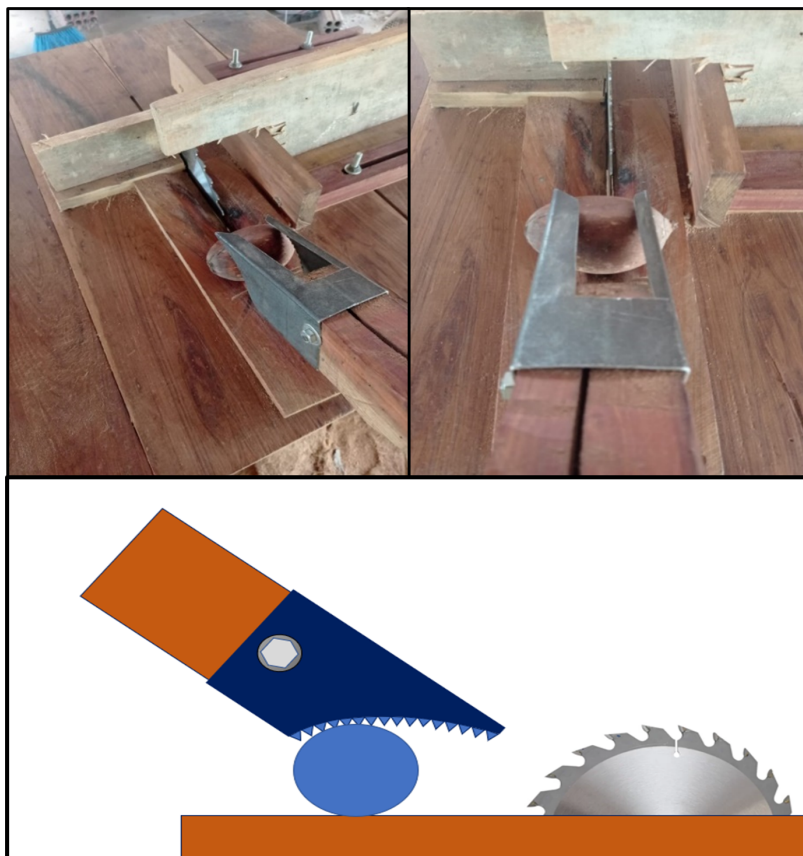


Figura 19 – Demonstração de funcionamento da Garra



Figura 20 – Corte do coco sendo realizado

Com o teste da garra, notou-se a necessidade de criar três sistemas Figura 21, que foram acoplados a banca. O primeiro sistema criado (S1), foi uma trava no formato



de “T”, fixada na banca com o uso de pregos, que impede que a garra toque no disco, tocando primeiro nessa trava. O segundo sistema (S2), foi uma guia para o coco, que o conduz até a serra. Essa guia possibilita que o corte ocorra mais para o lado oposto ao lado que o coco é ligado no estipe do babaçu, facilitando assim a saída da amêndoa que possui o lado mais alto também no lado oposto a que coco é ligado no estipe Figura 22. O terceiro sistema (S3), impede que o coco salte no sentido da pessoa que está operando a banca.

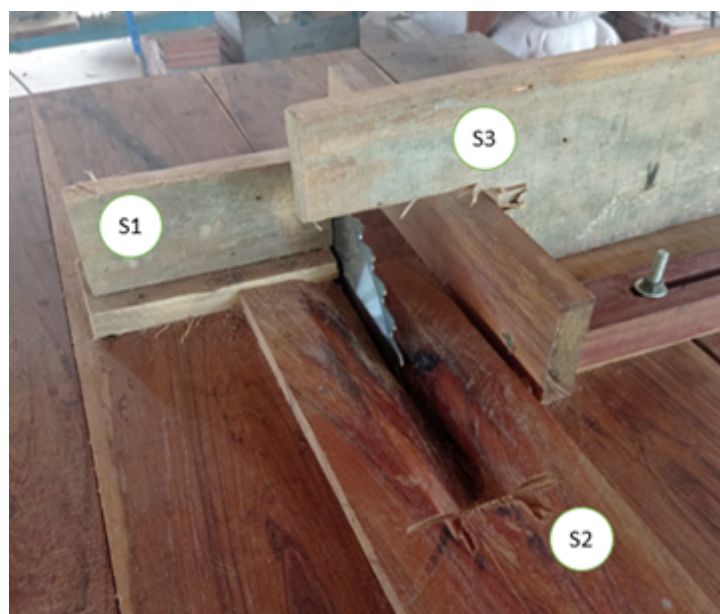


Figura 21 – Sistemas de segurança para o corte do coco

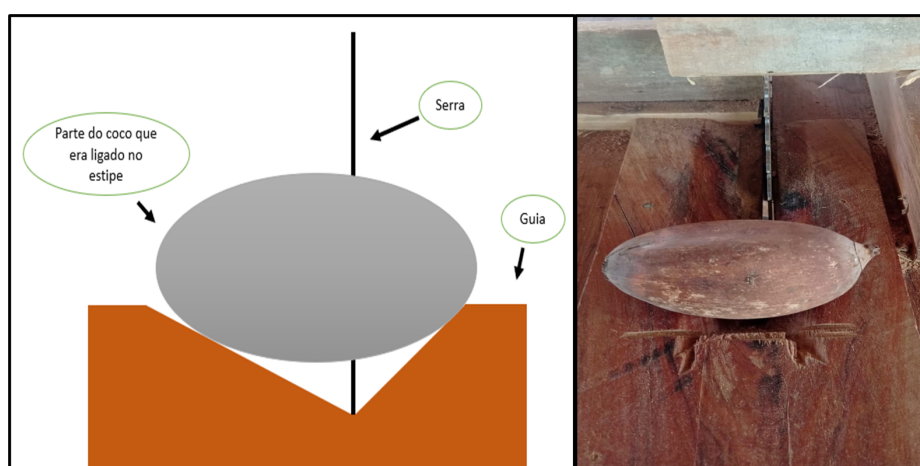


Figura 22 – Demonstração de Funcionamento do Sistema

O primeiro protótipo tinha um rendimento estimado de nove cocos por minuto, já o segundo protótipo, durante os testes, apresentou uma produção de cerca de dez cocos por minuto. Após um teste mais intensivo do sistema, foi possível observar que a grande

maioria das amêndoas caíam do coco, apenas as dos cocos recém caídos (“coco verde”), apresentava mais dificuldade liberar a amêndoa, mas com o manejo do babaçual, é possível coletar cocos e colocá-los para secar, garantindo que a amêndoa saia com facilidade quando cortada.

O coco babaçu utilizado no trabalho, foi coletado nas propriedades A (propriedade do Senhor Leal, com área de 0,6 ha) e B (propriedade do Senhor Leal, com área de 1,28 ha) indicadas na Figura 23

A unidade de medida usada na região pelas catadoras, é a “lata”, que equivale a um volume aproximado de 18 litros. Essa unidade foi usada como parâmetro para medir o rendimento da máquina. Em um dia de trabalho (8h) foi possível cortar cerca de 48 latas de coco, o que equivale ao trabalho de três a quatro quebradeiras de coco, quebrando manualmente com o porrete, no mesmo período.

O teste com o protótipo foi realizado com os cocos selecionados para carbonização foram coletados em propriedades da família do autor.

### 3.3 Construção de um forno para a carbonização da biomassa

O forno foi construído na cidade de Palmeira do Piauí-PI, localizada a 640km de Teresina-PI. O forno foi dimensionado para acomodar até 30 latas de coco, cerca de 550 litros. O local escolhido para a construção do forno é indicado pelo polígono verde na Figura 23 , com localização geográfica: 841’32.24”S 4414’15.90”O e elevação 290 m acima do nível do mar. A casa mais próxima está a 273 metros (caminho laranja Figura 23), para não incomodar as casas com a fumaça emitida no processo de pirólise, pela rodagem disponível, a distância é de 232 metros (trajeto amarelo Figura 23) até o local de processamento do coco.



Figura 23 – Área de construção do forno e coleta do babaçu

Para a construção do forno foram utilizadas cerca de 160 lajotas, barro de murundu ou cupinzeiro e uma tubulação de metal com largura de 25 cm e diâmetro de 30 cm para fazer a abertura para encher o forno. Com o material próximo ao local de construção, foi feita a limpeza da área para a construção do forno. Já com a área limpa, um torno foi colocado onde foi delimitado ser o centro do forno, um compasso feito com uma linha de 60 cm ligada ao torno, utilizado para delimitar o diâmetro da base do forno de 120 cm (Figura 24).

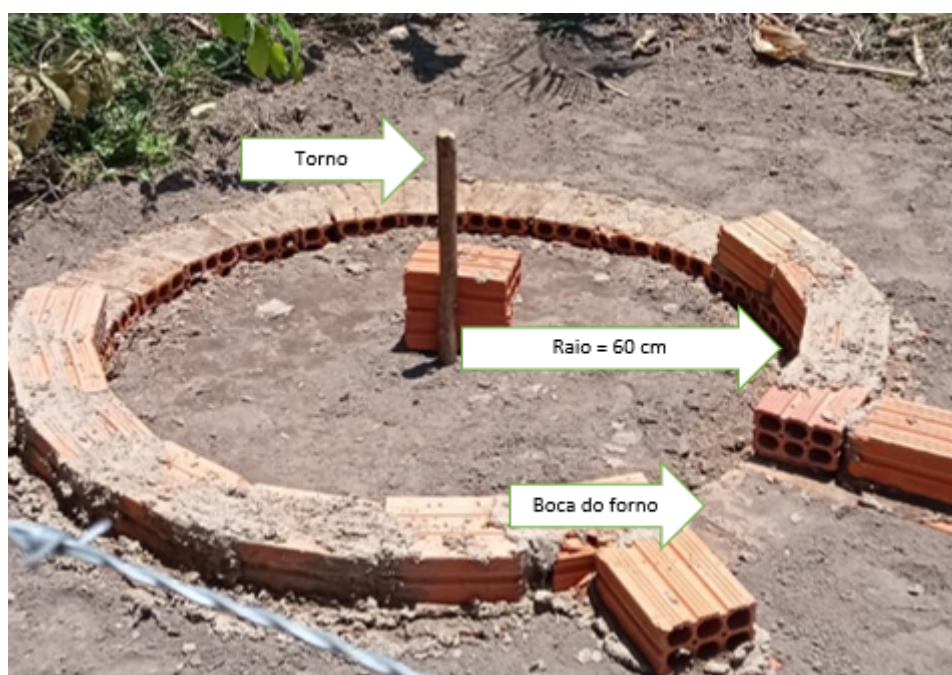


Figura 24 – Base do forno



Após a base ser feita, foi assentada a primeira fileira de lajotas. Sobre essa primeira fileira, foram deixados espaços para quatro saídas de ar equidistantes, denominados popularmente como tatus, representado pelos círculos brancos. Depois de mais quatro fileiras de lajotas assentadas, mais quatro buracos foram feitos, denominados popularmente como filas, representados pelos círculos amarelos, de forma a coincidir com os tatus em relação a uma linha perpendicular em direção ao solo. As últimas saídas de ar, denominadas popularmente como as baianas, representada pelo círculo verde, foram também colocadas a quatro fileiras de lajotas acima das filas. Em uma fileira acima das baianas, foi colocado um tubo metálico (círculo vermelho) para enchimento do forno com a biomassa do babaçu (Figura 25).



Figura 25 – Construção do forno de carbonização do babaçu

O forno possui um formato abaulado, a partir na quinta fileira, considerando-se o solo como linha de base, obtendo-se essa forma com a inclinação das lajotas, para que o forno fechasse a 1,5 metros de altura. Após o término do assentamento das lajotas, o forno foi rebocado com o mesmo barro que foi usado para o seu levante e o resultado se encontra na Figura 26.





Figura 26 – Forno de carbonização construído

### 3.4 Teste piloto de carbonização

A carbonização piloto foi realizada nos dias 16 e 17 de novembro de 2020. O primeiro passo foi o preenchimento do forno com 30 latas, cerca de 550 litros de cavacos de coco babaçu, até chegar na boca do forno. A boca do forno foi preenchida com tijolos e barro, deixando uma pequena abertura para dar ignição e início do processo de carbonização. Um maçarico foi utilizado para dar início a combustão (Figura 27) às 9h15. Após estabelecida a combustão a boca do forno foi fechada acima como e a a abertura usada para alimentação do forno (Figura 28).



Figura 27 – Ignição



Figura 28 – Vedação do forno

A referência usada para a condução do processo de carbonização foi empírica, utilizando-se a percepção da coloração da fumaça emitida pelas baianas. Às 9h30 observou-

se o início da pirólise e uma fumaça branca na Figura 29, devido à grande quantidade de vapor de água liberada no início do processo. Nessa etapa a biomassa aquece e perde umidade. Às 12h30 foi observada uma fumaça mais acinzentada, os últimos resquícios de umidade foram liberados. Essa fumaça branca/acinzentada se dá pela combustão incompleta do babaçu e liberação de grande volume de gases não condensáveis como dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrogênio e condensáveis como metanol, ácido acético e alcatrão, sendo esse último, liberado principalmente do endocarpo, como resultado da decomposição da lignina (Figura 30).

Nos estágios finais a fumaça branca/acinzentada começa a ficar transparente e azulada. Nesse momento houve a liberação dos últimos resquícios de alcatrão, uma perda de volume e adensamento de carbono fixo. Às 13h40 observou-se que a fumaça emitida através das baianas começou a ficar azulada e início da saída de gases pelas filas (Figura 31). Quando a fumaça azulada começou a ser emitida em maior intensidade, as baianas foram fechadas, às 14h10, deslocando a frente de carbonização para baixo (Figura 32).



Figura 29 – Início da pirólise (TD: 15 min)



Figura 30 – Início da pirólise (TD: 15 min)



Figura 31 – Avanço da frende de carbonização (TD: 4h25)



Figura 32 – Baianas fechadas (TD: 4h55)

Foi observado, que devido ao sentido do vento leste/oeste, indicado pelas setas amarelas na Figura 32, fez com que a carbonização na altura das filas ocorresse mais rapidamente do lado esquerdo do forno, mas com o selamento dos orifícios é individual, não houve prejuízos ao processo de carbonização. Na Figura 32 também foi possível observar a diferença da coloração das fumaças. A fumaça emitida à esquerda do forno na figura apresenta um tom acinzentado tendendo para o azul, enquanto a fila à direita emitia um tom de fumaça branco. Essa característica é perceptível com mais facilidade na Figura 33. Às 15h45 foram observadas brasas no primeiro tatu, no lado esquerdo da boca do forno (Figura 34). Nesse momento o tatu foi selado com barrela.





Figura 33 – emissão de fumaça branca e azul



Figura 34 – Presença de brasas no tatu ao lado da boca no forno

Todo o restante da carbonização é basicamente uma repetição dos passos descritos, até o selamento do último tatu, que se deu às 12h46, do dia 17 de novembro perfazendo 27h25 de carbonização. O processo de carbonização desacelerou-se após às 3h00 do dia 17 de novembro, devido a atividade dos ventos, tornado mais lento o primeiro teste.

Foram esperados dois dias para a abertura do forno. O carvão (Figura 35) foi distribuído para quatro vizinhos para que fizessem o teste para cocção. De acordo com os relatos que não houve presença de fumaça ou labaredas durante a cocção além de um bom rendimento e durabilidade das brasas.



Figura 35 – Carvão de coco babaçu

Como o processo de carbonização é lento, além da necessidade de esperar o forno esfriar, esse protótipo, em um sistema de produção mais intensivo, não teria capacidade de carbonizar toda a biomassa gerada, mas para cumprir os objetivos desse trabalho e para pequenas produções, esse forno se mostrou viável.

-

## 4 Considerações Finais

Com objetivo de estudar o potencial energético do coco de babaçu para cocção e o desenvolvimento de protótipos para quebra do coco e carbonização, podemos concluir que:

Foi possível verificar, por meio de uma revisão bibliográfica, que o carvão dos resíduos do coco babaçu, apresenta alto teor de carbono fixo, com alta densidade proporcionada pela carbonização do endocarpo, que queima mais lentamente e por consequência rende mais. O epicarpo e o mesocarpo quando carbonizados não geraram finos, pois devido ao corte do coco ao meio, as partes não se separavam do endocarpo quando carbonizadas, gerando uma “capa” de um carvão menos denso, que, em testes de uso, tornou o carvão fácil de dar ignição.

Embora o primeiro protótipo não tivesse funcionado, foi possível construir um segundo protótipo, que também corta o coco ao meio e apresenta um rendimento semelhante ao projetado para o primeiro protótipo, necessitando, porém, de cuidado do operador ou operadora no manuseio do coco e no uso da serra.

Foi possível construir o forno tipo “rabo - quente” para a carbonização, usando apenas lajotas, barro de murundu e um tubo de metal, contando com a ajuda do senhor Raimundo Leal. Iniciada a carbonização, o reboco apresentou poucos vazamentos de fumaça, que foram rebocados após o primeiro teste do uso do forno.

A técnica escolhida para a condução da carbonização, a de análise de cor da fumaça, mostrou-se eficiente, formando um carvão com a qualidade almejada.

Na continuação do projeto que originou esse trabalho, pretende-se projetar e construir um forno maior, para suportar a produção de cavacos de cinco dias de corte de coco. O modelo escolhido será o ‘Forno de Superfície’, com tiragem de gases pelo centro do forno e queima desses gases, com rotina de carbonização conduzida pela análise de temperatura.



## Referências

- ABREU, S. F. *O coco babaçu e o problema do combustível*. [S.l.]: Instituto Nacional de Tecnologia, 1940. Citado na página 23.
- ALBIERO, D. et al. Proposta de uma máquina para colheita mecanizada de babaçu (*orbignya phalerata* mart.) para a agricultura familiar. *Acta amazônica*, SciELO Brasil, 2007. Citado na página 19.
- ARAÚJO, E. C. E. Estado da arte e potencial do babaçu para a agroenergia. 2008. Citado na página 19.
- ARRUDA, M. B. B. Como fazer referências: bibliográficas, eletrônicas e demais formas de documentos. 2007. Disponível em: <<http://bu.ufsc.br/framerefer.html>>. Citado na página 18.
- ARRUDA, T. P. M. de et al. Avaliação de duas rotinas de carbonização em fornos retangulares1. *Revista Árvore*, SciELO Brasil, v. 35, n. 4, p. 949–955, 2011. Citado na página 36.
- BABAÇU, G. D. E. D. et al. Babaçu. *Estudo Técnico Econômico. Relatório do GEB*. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 17.
- BARBOSA, V. d. O. Mulheres do babaçu: gênero, maternalismo e movimentos sociais no maranhão. 2013. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 17.
- BELTRÃO, N. d. M.; OLIVEIRA, M. da. Oleaginosas potenciais do nordeste para a produção de biodiesel. *Embrapa Algodão-Documentos (INFOTECA-E)*, Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007., 2007. Citado 3 vezes nas páginas 14, 15 e 21.
- BERRÊDO, E. S. A. et al. O miqcb: aspectos organizativos e o processo de onguização do movimento. Universidade Federal do Maranhão, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 17.
- BRASIL. Babaçu: boas práticas para o extrativismo sustentável orgânico. *Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável. Departamento de Extrativismo*, 2016. Citado 4 vezes nas páginas 13, 14, 19 e 21.
- CARRAZZA, L. R. et al. Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto e da folha do babaçu. Instituto Sociedade, População e Natureza, 2012. Citado 10 vezes nas páginas 7, 12, 13, 14, 18, 19, 21, 32, 33 e 34.
- CEMIN, D. d. S. Desenvolvimento de um forno para carbonização de resíduos agroflorestais em pequena escala. 2010. Citado 3 vezes nas páginas 18, 32 e 35.
- COMO é produzido o carvão vegetal em fornos de alvenaria. Disponível em: <<https://meunegocioflorestal.com/como-e-produzido-carvao-vegetal/>>. Citado 3 vezes nas páginas 7, 35 e 36.
- DALLASTRA, E. C. *Sistemas de produção de carvão vegetal existentes no Brasil: uma análise de viabilidade econômica*. Tese (Doutorado), 2010. Citado na página 31.

- ESTRATÉGICOS, C. de gestão e estudos. Modernização da produção. vegetal no brasil: Subsídios para revisão do plano siderurgia. *Centro de Gestão e Estudos Estratégicos: Brasília, Brazil*, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 32.
- FERREIRA, A. O babaçu enquanto alternativa energética no maranhão: possibilidades. *Ciências Humanas em Revista. Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências Humanas. São Luís*, v. 3, n. 2, p. 187–202, 2005. Citado na página 21.
- FERREIRA, A. M. N. O total aproveitamento do coco babaçu (*orbignya oleifera*). 2011. Citado 3 vezes nas páginas 14, 15 e 21.
- FILHO, A. V. Petróleo e coque metalúrgico do babaçu e macauba. *Anais Encontro do Babaçu. Teresina: SPC*, p. 83–92, 1881. Citado na página 23.
- FILHO, A. V. Babaçu, aspectos sócios - econômicos e tecnológicos. Brasília: Universidade de Brasília, 217p, 1968., 1968. Citado 4 vezes nas páginas 21, 22, 23 e 24.
- FILHO, J. do A. *A economia política do babaçu: um estudo da organização da extrato-indústria do babaçu no Maranhão e suas tendências*. [S.l.]: Serviço de Impr. e Obras Gráficas do Estado, 1989. Citado na página 23.
- FRANCO, F. J. P. *Aproveitamento da fibra do epicarpo do coco babaçu em compósito com matriz epóxi: estudo do efeito do tratamento da fibra*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 24.
- FRAZÃO, J. Alternativas econômicas para agricultura familiar assentadas em áreas de ecossistemas de babaçuais. *Relatório técnico. Governo do Estado do Maranhão, São Luís*, 2001. Citado na página 22.
- GONSALVES, A. D.; FREITAS, R. M. de. *O babaçu: considerações científicas, técnicas e econômicas*. [S.l.]: Ministério da Agricultura. Serviço de Informação Agrícola, 1955. Citado na página 23.
- HORTO. *Attalea speciosa*. 2016. Citado na página 19.
- IBGE. Produção da extração vegetal e da silvicultura – pevs 1986. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*, 1986. Citado na página 12.
- IBGE. Produção da extração vegetal e da silvicultura – pevs 2009. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*, 2009. Citado na página 12.
- IBGE. Produção da extração vegetal e da silvicultura – pevs 2017. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*, 2017. Citado na página 12.
- JUNIOR, M. E. d. A.; DMITRUK, E. J.; MOURA, J. C. d. C. A lei do babaçu livre: uma estratégia para a regulamentação ea proteção da atividade das quebradeiras de coco no estado do maranhão. *Sequência*, v. 68, p. 129–157, 2014. Citado na página 12.
- KONO, A. Alternativas de mercado e comercialização do babaçu e seus subprodutos. in: Workshop babaçu: alternativas políticas sociais e tecnológicas para o desenvolvimento sustentável. *Anais, EMAPA. São Luís-MA, volume=, pages=72–85, year=1982*. Citado na página 22.

- LIMA, J. et al. Produção de biodiesel a partir de potenciais oleaginosas do nordeste. *Trabalho apresentado na 25ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química-SBQ, São Paulo. (Resumo expandido dos Anais do Evento)*, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 21.
- LIMA, R. F. de; SOUZA, R. C. R. de. Produção de carvão vegetal em pequena escala no Amazonas: aspectos legais e sócio-ambientais. *3 ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL*, SciELO Brasil, 2000. Citado 4 vezes nas páginas 7, 18, 33 e 34.
- LORENZI, H. et al. *Palmeiras no Brasil: nativas e exóticas*. [S.l.], 1996. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 19.
- MAY, P. H. Palmeiras em chamas: transformação agrária e justiça social na zona do babaçu. In: *Palmeiras em chamas: transformação agrária e justiça social na Zona do babaçu*. [S.l.]: EMAPA/FINEP, 1990. Citado na página 22.
- MOURA, A. P. de; CAMPOS, J. E.; MAGALHÃES, S. R. Melhoria da qualidade de serviço na produção de carvão no setor de carbonização: um estudo de caso. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 8, n. 1, p. 19–26, 2011. Citado na página 31.
- NASCIMENTO, U. M. et al. Otimização da produção de biodiesel a partir de óleo de coco babaçu com aquecimento por microondas. *Eclética Química*, SciELO Brasil, v. 34, n. 4, p. 37–48, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 21.
- OLIVEIRA, A. Sistema forno-fornalha para produção de carvão vegetal. *Viçosa: Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal (Dissertação de mestrado)*, 2012. Citado 3 vezes nas páginas 18, 35 e 36.
- OLIVEIRA, A. I. T.; ALEXANDRE, G. P.; MAHMOUD, T. S. Babaçu (*orbignya* sp): Caracterização física de frutos e utilização de solventes orgânicos para extração de óleo. *BBR-Biochemistry and Biotechnology Reports*, v. 2, n. 3esp, p. 126–129, 2013. Citado na página 22.
- OLIVEIRA, F. C. A. Estudo da produção de carvão ativado a partir do endocarpo do coco do babaçu com cogeração de energia. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2017. Citado na página 31.
- OLIVEIRA, R. L. M. d. et al. Instrumentação e análise térmica do processo de produção de carvão vegetal. Universidade Federal de Uberlândia, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 36.
- PAVLAK, M. C. de M. et al. Aproveitamento da farinha do mesocarpo do babaçu (*orbignya martiana*) para obtenção de etanol. *Evidência-Ciência e Biotecnologia*, v. 7, n. 1, p. 7–24, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 21.
- PERFEITO, G. Maquinário substitui machadinho na quebra do babaçu. 2019. Disponível em: <<http://www.df.agenciasebrae.com.br/sites/asn/uf/DF/maquinario-substitui-machadinho-na-quebra-do-babacu,6acf5b7a29e26410VgnVCM1000003b74010aRCRD>>. Acesso em: 30 set. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 17.
- PINHEIRO, C. U. B.; FRAZÃO, J. M. F.; BALICK, M. J. Coleta de germoplasma de palmeiras do complexo babaçu (*orbignya* e *attalea*) fundamentos para a coleta de germoplasma vegetal. 2005. Citado na página 19.

- PINHEIRO, C. V. B. Pesquisa e desenvolvimento com o babaçu. reorganização do agronegócio do babaçu no estado do maranhão. 2000. Citado na página 19.
- PORTO, M. J. F. Babaçu: Programa nacional de pesquisa. 1984. Citado 3 vezes nas páginas 14, 21 e 24.
- PORTO, M. J. F. et al. Estudo preliminar de dispositivo de quebra e caracterização dos parâmetros físicos do coco babaçu. [sn], 2004. Citado 5 vezes nas páginas 12, 14, 19, 21 e 22.
- PROTÁSIO, T. d. P. *Biomassa residual do coco babaçu: potencial de uso bioenergético nas regiões norte e nordeste do Brasil*. Tese (Doutorado) — UFLA, 2014. Citado 7 vezes nas páginas 7, 9, 19, 28, 29, 30 e 31.
- REGO, J. L.; ANDRADE, M. de P. História de mulheres: breve comentário sobre o território e a identidade das quebradeiras de coco babaçu no maranhão. *Agrária (São Paulo. Online)*, n. 3, p. 47–57, 2005. Citado na página 12.
- SANTOS, J. d. J. Biodiesel de babaçu: avaliação térmica, oxidativa e misturas binárias. *João Pessoa: UFPB*, 2008. Citado na página 14.
- SILVA, E. M. S.; BASTOS, J. E. N. S. Pequenos projetos ecossociais de quebradeiras de coco babaçu: reflexões e aprendizados. *Instituto Sociedade, População e Natureza – ISPN – Brasília-DF*, 2016. Citado na página 13.
- SILVA, J. d. C. e.; BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. Endocarpos de babaçu e de macaúba comparados a madeira de eucalyptus grandis para a produção de carvão vegetal. *Ipef*, v. 34, p. 31–34, 1986. Citado 6 vezes nas páginas 9, 14, 21, 23, 27 e 28.
- SILVA, M. R. d. Distribuição do babaçu e sua relação com os fatores geoambientais na bacia do rio cocal, estado do tocantins. Universidade de Brasília, 2008. Citado 4 vezes nas páginas 12, 14, 15 e 21.
- TEIXEIRA, M. Estimativa do potencial energético na indústria do óleo de babaçu no brasil. In: SCIELO BRASIL. *Proceedings of the 3. Encontro de Energia no Meio Rural*. [S.l.], 2000. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- TEIXEIRA, M. A. Biomassa de babaçu no brasil. *Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural*, SciELO Brasil, 2002. Citado 10 vezes nas páginas 7, 9, 14, 19, 21, 23, 24, 25, 26 e 27.
- VALE, S. R. G. A. et al. Análise ergonômica da atividade de quebra tradicional do coco babaçu no município de itapecuru-mirim/ma. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho, v. 43, 2018. Citado na página 13.
- WISNIEWSKI, A. et al. Babaçu e a crise energética. *Embrapa Amazônia Oriental- Documentos (INFOTECA-E)*, Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1981., 1981. Citado 3 vezes nas páginas 14, 21 e 22.
- ZUNIGA, A. D. G. et al. Hidrólise Ácida da farinha do mesocarpo do coco babaçu, visando a obtenção de bioetanol. *Universidade Federal do Tocantins – UFT. Palmas – TO, Brasil.*, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 21.

---

ZYLBERSZTAJN, D. et al. Reorganização do agronegócio do babaçu no estado do maranhão. relatório técnico. *Centro Pensa-USP, São Paulo*, 2009. Citado na página [19](#).